PERMEABILIDADE E MICROSCOPIA DE CONCRETOS COM RESÍDUO DE CORTE DE MARMORE E GRANITO COMO FILLER

Lucas de Sousa Farias Gesta [(1)]; Caio Quaresma Santos [(2)]; Paulo Sérgio Lima Souza [(3)]

(1) Universidade Federal do Pará – lucas.gesta@outlook.com; (2) Universidade Federal do Pará – eng.caiosantos@gmail.com; (3) Universidade Federal do Pará – paseliso@ufpa.br

RESUMO

A elevada finura e o efeito filler nos resíduos de corte de mármores e granitos (RCMG), oriundos de empresas de rochas ornamentais guardam um grande potencial para serem utilizados como adições minerais em substituição ao cimento, no que se refere ao preenchimento da matriz porosa do concreto e das argamassas. Propriedades intrínsecas do concreto, como a permeabilidade são influenciadas diretamente pela porosidade na zona de transição da matriz cimentícia e do agregado. Nas tecnologias atuais, este espaço vazio é preenchido por adições minerais pozolânicas ou inertes (fillers) a fim de se obter a otimização destas propriedades fundamentais. A hipótese da pesquisa se dá na substituição cimento pelo resíduo (RCMG) para se alcançar a colmatação dos microporos do concreto e consequentemente diminuir sua permeabilidade. Para isto, o presente trabalho caracterizou o resíduo através de análises granulométricas (Difração a laser), mineralógicas (DRX), químicas (FRX) e morfológicas (MEV) e variou nos teores de 5% e 10% em substituição ao cimento para as idades de 28 e 90 dias. Como variáveis de resposta foram feitos os ensaios de absorção por capilaridade e imersão e análises microscópicas através do MEV. Os resultados mostraram que houve uma menor taxa de absorção e menor índice de vazios com o concreto utilizando 5% de substituição.

Palavras-chave: resíduo de corte de mármores e granitos, filler, permeabilidade.

PERMEABILITY AND MICROSCOPY OF CONCRETE WITH MARBLE AND GRANITE CUTTING WASTE AS FILLER

ABSTRACT

The high fineness and filler effect in the marble and granite cutting waste (MGCW) from ornamental stone companies have great potential to be used as mineral additions in substitution of cement, as far as filling the interfacial transition zone (ITZ) of the concrete and mortars. Intrinsic properties of concrete such as permeability are directly influenced by porosity in the ITZ of the cementitious matrix and the aggregate. In current technologies, this void is filled by mineral additions (fillers) in order to obtain the optimization of these properties. The research hypothesis is based on the substitution of cement by the residue (MGCW) in order to reach the micropore densification of the concrete and consequently to decrease its permeability. For this, the present work characterized the residue by means of granulometric analyzes (mineral diffraction), mineralogical (XRD), chemical (FRX) and morphological (SEM) and varied in the contents of 5% and 10% replacing the cement for the ages of 28 and 90 days. As variables were the capillary absorption and immersion tests and microscopic analysis through the SEM. The results showed that there was a lower absorption rate and lower void index with the concrete using a 5% substitution.

Key-words: marble and granite cutting waste, filler, permeability.

1. INTRODUÇÃO

Na composição do concreto, seja convencional, seja especial, o insumo de maior custo e de maior potencial poluente é o cimento. De produção em larga escala, o custo excessivo e a alta emissão de CO_2 para a produção do clínquer (principal constituinte para propriedades básicas do cimento portland como resistência mecânica) torna necessária a obtenção de meios alternativos para viabilizar economicamente e ambientalmente a sua produção e utilização na indústria da construção.

As adições minerais foram aprimoradas e utilizadas na melhoria de propriedades intrínsecas do concreto, tanto para características mecânicas quanto para a durabilidade. Usualmente obtidas pela geração de resíduos industriais e agrícolas, as adições possuem papel fundamental na composição dos concretos do século XI, podendo ter várias funções e classes como as adições pozolânicas, cimentantes e os fillers. Em geral, dos diversos tipos de resíduos trabalhados e descobertos pela comunidade científica, o resíduo do corte de rochas ornamentais, principalmente mármores e granitos tem se mostrado uma alternativa como potencial adição mineral e diminuição do impacto ambiental causado pelo consumo de matéria prima natural.

Para a produção do corte de rochas ornamentais, cerca de 25% do produto é pó que posteriormente se torna lama que contribui para a poluição de áreas do meio ambiente como rios, devido à falta de destino para descarte do material pelas empresas[1]. Dados como quantidades de resíduos são incalculável visto a falta de monitoramento de órgãos públicos responsáveis pela sua destinação. No Brasil, as produções das rochas, em maior parte, se concentram no estado do Espírito Santo e então, destinadas a todo o resto do território.

Ambientalmente, quando resíduos industriais são reciclados, não somente a emissão de CO_2 é reduzida, mas outros resíduos são realocados como materiais e mais recursos naturais são preservados [2].

O efeito do pó de mármore e granito já é estudado há algumas décadas por pesquisadores nacionais e internacionais. Sua aplicação pode ser dada tanto como adição mineral pela substituição do cimento quanto na substituição de agregados (areia). Um estudo [3] que trabalhou com o resíduo de mármore e granito em substituição ao cimento obteve aumento de resistência à compressão axial de 23% aos 28 dias com faixas de 2.5%, 5%, 7,5%, 10%, e 15. Outros diversos trabalhos [4] [5] também obtiveram acréscimo de resistência, tanto por compressão axial, quanto por tração na flexão, com a substituição parcial do cimento pelo RCMG, tendo como sua melhor faixa de

substituição em torno de 5% a 7%. É importante ressaltar que a maior parte destes trabalhos identificou que este resíduo possui propriedades de *filler*, ou seja, de alta finura para o preenchimento dos poros das matrizes e na zona de transição, não tendo então atividade pozolânica [4] [6]. Além disso, um dos autores afirma que o teor de 5% de substituição é ótimo, pois além do acréscimo na resistência mecânica, há também o refinamento da matriz cimentícias e, consequentemente, a diminuição da porosidade. Outros trabalhos internacionais mostram a relação de sustentabilidade do uso do resíduo [7] onde, por meio de procedimentos experimentais, o melhor teor de substituição do cimento seria de 10% tanto para o aumento da resistência quanto para a redução de 12% do CO2 pela produção do clínquer. O concreto com substituição pelo resíduo se apresentou mais denso e menos poroso, além disso, para a relação água/cimento de 0,4 a 0,5, há a efetivação do efeito *filler* do resíduo devido ao melhoramento na zona de transição, do que em relações a/c mais altas [1].

Algumas pesquisas nacionais também já trabalharam com o RCMG na sua composição, na qual há certas controvérsias onde trabalhos de substituição do resíduo geraram diminuição nas propriedades mecânicas [8] e outros que mostraram acréscimo de resistência com até 5% de substituição e com relações água/cimento em torno de 0,5 [9].

A definição de durabilidade, segundo a Norma Brasileira [10], é a capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais. Logo, o processo de deterioração do concreto é resultado de ações químicas e físicas, como o ataque por sulfatos, ácidos, entre outros. Todos esses processos envolvem o fenômeno de transporte pelas estruturas de poros, o ambiente em que a estrutura está inserida, a qualidade e a proporção dos materiais utilizados, ou seja, a durabilidade do concreto é função da permeabilidade do mesmo, uma vez que a entrada de água e dos agentes deletérios citados iniciam os processos de deterioração [11].

O presente trabalho avaliou as características físicas, químicas, mineralógicas e morfológicas do resíduo de mármore e granito (RCMG) comparando-o com a do cimento utilizado e analisou seu desempenho em substituição ao próprio cimento em faixas de 5 e 10% em massa no concreto. O trabalho enfatizou no estudo da permeabilidade deste concreto, por meio dos ensaios de absorção por imersão e absorção por capilaridade e estudos microscópicos com o auxílio da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

2. METODOLOGIA

2.1. Caracterização e obtenção dos materiais

O cimento utilizado na pesquisa foi o Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP-V ARI RS) de massa específica de 3,09 g/cm³ [12], sendo escolhido por ser, majoritariamente, composto por clínquer e sem adições que possam afetar na análise do resíduo. Além disso, foi feita a granulometria a laser para caracterizar e servir de referência a substituição compatível (de mesma granulometria) do resíduo pelo cimento.

O agregado miúdo utilizado é uma areia quartzosa proveniente dos rios da cidade de Belém, de massa específica de 2,70 g/cm³, tendo módulo de finura igual a 0,95 e dimensão máxima característica de 2,4 mm. [13]

O agregado graúdo natural foi utilizado foi a brita de origem granítica proveniente do município de Tracuateua (PA) de massa específica de 2,84 g/cm³ e dimensão máxima característica de 25 mm. [14] [15]

O RCMG foi recolhido em forma de lama, ou seja, o pó umedecido no processo de corte, de duas empresas de rochas ornamentais, como mostrado na Figura 4. Posteriormente, foi colocado em estufa à temperatura de 105º C e resfriado à temperatura ambiente, e logo após, peneirado na peneira de malha #200 até o recolhimento do material passante, fino, a ser utilizado na substituição do cimento (Figura 1 e 2).

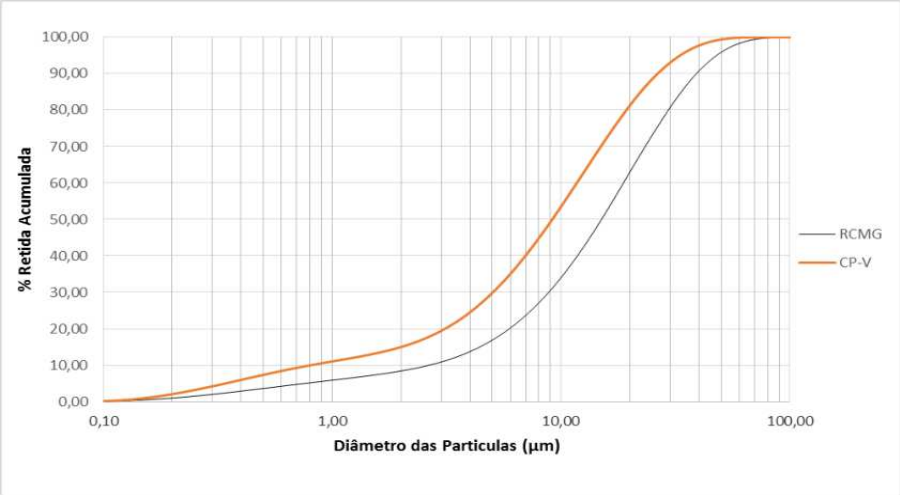
Figura 1,2 - Obtenções do Resíduo do Corte do Mármore e Granito (RCMG). 1). Em forma de lama na máquina de corte; 2) Seco e Peneirado para o uso no concreto; Fonte: Autores.



Para a caracterização física do resíduo, sua massa específica é de 2,75 g/cm³ e sua finura, pela peneira #200 de 17% [16]. Assim como o do cimento, foi feito a granulometria a laser de ambos os

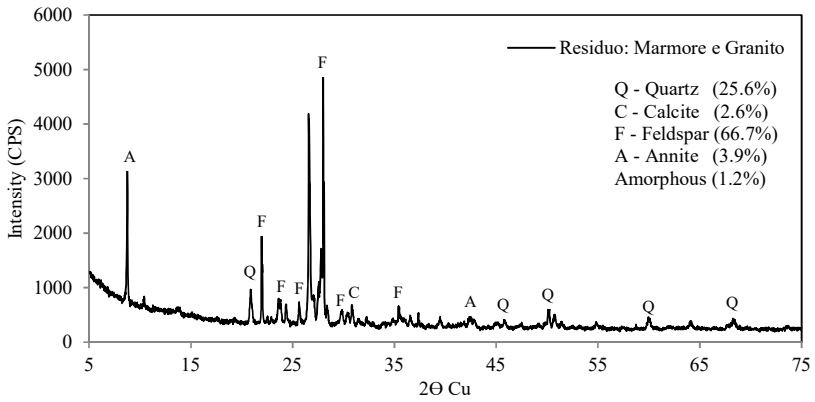
materiais para a comparação e constatação da finura do material, característica imprescindível para um filler como é mostrado na Figura 3, em que há certa proximidade entre o diâmetro dos grãos dos materiais, embora o cimento seja ligeiramente mais fino que o resíduo, 50% de seus grãos são inferiores a 20 µm, aproximadamente, atendendo requisitos da norma NBR 12653 (2014) para uso como adição mineral [17].

Figura 3 - Curvas Granulométricas por difração a laser do cimento e do RCMG. Fonte: Autores.



Na caracterização mineralógica, com a análise da difração de raios-X, identificamos as fases cristalinas do material. Na figura 4, O difratograma de Raios-X mostra como o resíduo possui pontos de picos de minerais cristalinos de Feldspato e Quarzo, além dos minerais presentes da rocha originária e pouco percentual de sílica amorfa (*Amorphous*), também sem a presença do halo amorfo, logo, possivelmente a quantidade de sílica amorfa (SiO2) não o suficiente para apresentar uma possível atividade pozolânica.

Figura 4 - Difratograma de Raio-X do RCMG; Fonte: Autores.



A composição e caracterização química foram determinadas utilizando o Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X como é mostrado na Tabela 1. Os resultados mostram que o maior

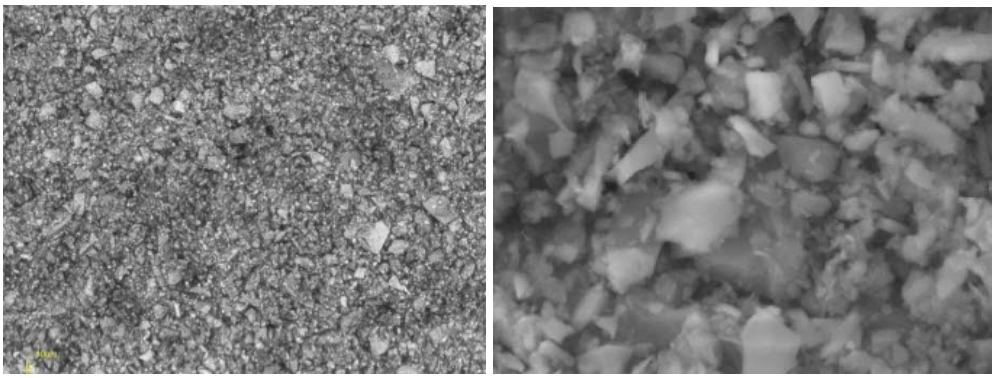
composto do resíduo é o dióxido de silício (SiO_2), sendo em torno de 61,88% de sua composição, seguido por 13,79% e 7,71% de Al2O3 e Fe2O3, respectivamente, sendo componentes dos minerais de Feldspato e Quarzo, mostrados no DRX. Os resíduos atendem a exigência química da NBR 12653 (2014) [17] para a caracterização de material pozolânico (SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3>70%), porém, não apresenta atividade pozolânica justamente pelos minerais já se encontrarem cristalizados, sem a possibilidade de reação com o $Ca(OH)_2$.

Tabela 1: Composição química dos resíduos e do cimento através da Fluorescência de Raio-X (FRX).

Composição Química	Teores (%)	
	Cimento CP-V	RCMG
SiO_2	19,32	61,88
Al_2O_3	4,91	13,79
Fe_2O_3	3,02	7,71
CaO	64,85	6,58
K_2O	0,75	5,04
TiO_2	0,00	1,48
P_2O_5	0,00	0,84
MgO	0,69	0,38
NaO_2	0,00	0,28
SO_3	2,75	0,20
MnO	0,00	0,13
CO_2	0,00	1,48
Demais	0,00	0,21

A caracterização morfológica foi feita através da microscopia eletrônica de varredura (MEV) e está apresentado na Figura 4 e 5. Como pode ser observado, o resíduo possui formato poligonal e arestas definidas, podendo melhor disseminação pelos poros.

Figura 4 e 5 - Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) 1) 2500X de ampliação; 2) 5000X de ampliação; Fonte: Autores.



O aditivo usado para dar maior plasticidade ao concreto, visto que foi utilizada baixas relações a/c, foi o superplastificante Sikament de 3ª geração.

2.2. Dosagem e produção dos concretos

Como variáveis controláveis ou independentes são:

a. Teor de adição do resíduo (RCGM) em relação ao cimento. Variações de 0% (referência), 5% de adição e 10% de adição visando verificar qual proporciona o melhor desempenho.

E como variáveis de resposta, o enfoque foi nos ensaios que mostrem como a porosidade do concreto irá influenciar nas propriedades de permeabilidade. Estes são:

a. Absorção por Imersão: Para analisar a permeabilidade geral do concreto.
b. Absorção por Capilaridade: Para analisar a permeabilidade pelos poros capilares.

Além destas variáveis de resposta é importante também analisar o efeito do *filler* na microestrutura do concreto, tanto no concreto com brita quanto no concreto com agregado reciclado (o mais poroso), então é necessário se fazer uma Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para fazer essa constatação.

Para a elaboração do concreto, o método de dosagem empregado foi o do Instituto de Pesquisas Tecnológicas da Universidade de São Paulo (IPT/EPUSP) [18]. Foi fixado um teor de argamassa α= 51% e fixadas as relações a/c para os traços com brita de 0,46. Foi escolhido relações baixas em virtude dos trabalhos (1) mostrarem que o acréscimo de resistência se dá com relações baixas, em torno de 0,5. É mostrado na Tabela 2, o consumo dos materiais utilizados e suas proporções.

Tabela 2: Dosagem e consumo dos materiais.

Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Brita (Kg)	AGRC (Kg)	RCGM (Kg)	Água (Kg)
447,25	639,57	1042,09	-	-	205,74
424,89	639,57	1042,09	-	21,24	205,74
402,53	639,57	1042,09	-	44,73	205,74

3.3. Metodologia

No Slump Test, o abatimento foi fixado um valor de 100±10 mm. Para os concretos com brita, o traço de referência (0%), traço com 5% e traço com 10%, o abatimento foi de 95mm, 90mm e 100mm, respectivamente.

Já para os concretos com agregado reciclado, o traço de referência, traço com 5% e traço com 10%, o abatimento foi de 100mm, 110mm e 110mm, respectivamente. Foi observada também a contribuição de acordo com a inclusão do resíduo no aumento da coesão e a diminuição da exsudação do concreto, confirmando as características da adição de adições minerais.

A moldagem seguiu a NBR 5738 (2015) [19] onde foram moldados, para cada família, ou seja, para cada traço, três exemplares de 100x200. Foram retirados após 24 horas e curados seguindo também a NBR 5738 (2015) [19] por 28 dias e 90 dias. Após o processo de cura, foram feitos os ensaios de Absorção por imersão pela ABNT NBR 9778 (2005) [20] e Absorção por capilaridade pela ABNT NBR 9779 (2012) [21].

3. RESULTADOS

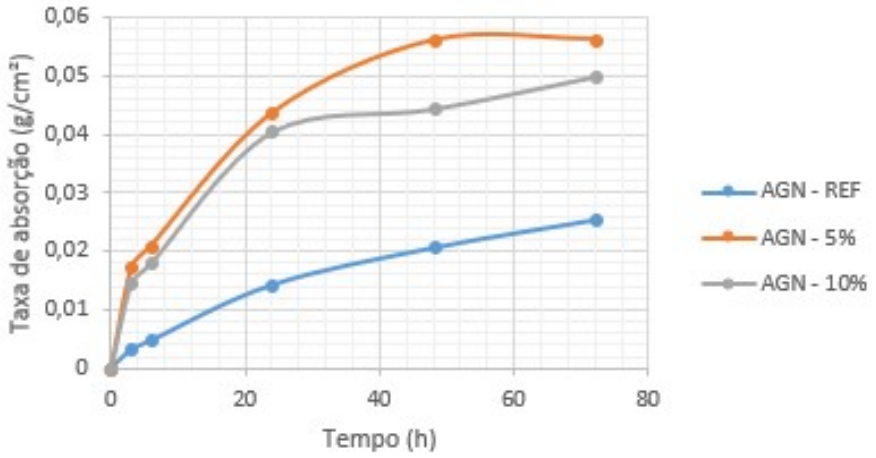
3.1. Permeabilidade

Para as misturas produzidas, como mostra a Figura 6, os valores de absorção foram de 5,4%, 4,4% e 4,1% para os teores de substituição de 0, 5 e 10%, respectivamente podendo ser um primeiro sinal de densificação do concreto com a substituição do cimento pelo resíduo podendo ter contribuído na interrupção da conectividade entre os poros e interrompendo o transporte de água no concreto.

Com isso, é estabelecido parâmetros pioneiros de classificação dos concretos de acordo com a absorção de água, onde concretos com absorção superior a 6,3% são concretos deficientes e, portanto, devem ser dosadas e produzidas de modo a reverter essa característica [22]. Diante disso, pode destacar que tanto a mistura com o RCMG quanto a de referência se enquadram como concreto durável, pois apresenta absorção total inferior a 6,3%, sendo a maior absorção a de 5,4%.

A Figura 7 apresenta os resultados do ensaio de absorção por capilaridade, é possível notar que nos traços o teor 5% de RCGM apresentou uma taxa de absorção maior que os demais, sendo o traço de referência o que apresentou os menores valores.

Figura 7 - Resultados de absorção por capilaridade para concretos.



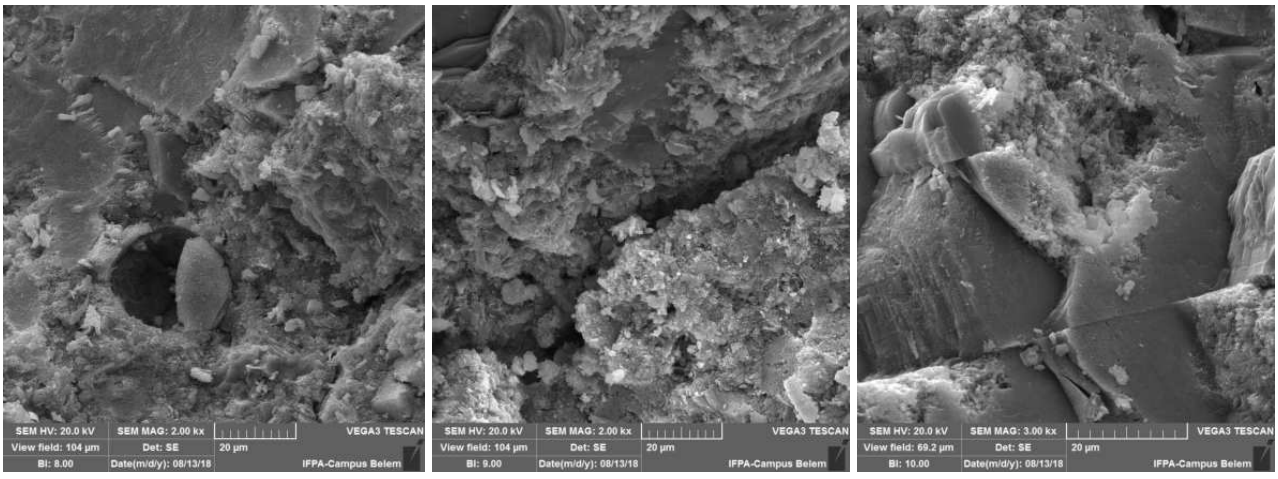
No entanto, os traços de referência apresentaram as menores taxas de absorção, portanto, de um modo geral, a utilização de RCGM aumentou a taxa de absorção dos concretos produzidos, devido ao incremento de finos causarem um refinamento de poros da estrutura, formando caminhos preferencias, favorecendo a absorção capilar [11].

Com isso, no concreto endurecido, a presença de materiais finos pode ser benéfica para concretos com baixas resistências. Já para concretos de elevada resistência este efeito pode ser adverso, como os concretos produzidos com resistência superiores a 40 Mpa, pode assumir essa hipótese para justificar a baixa contribuição do RCMG na absorção por capilaridade dos concretos produzidos [11].

3.2. Microscópio Eletrônico de Varredura

A análise da Microscopia (MEV) nos permitiu analisar e observar a morfologia dos concretos produzidos com o RCMG, tanto para os concretos convencionais quanto para os concretos reciclados. Durante este ensaio visual, a espectroscopia por dispersão de energia (EDS) foi utilizada para confirmação da presença do resíduo (RCMG) nas amostras com a verificação de seus componentes químicos revelados no EDS. O MEV utilizado foi o modelo VEGA 3 LMU da TESCAN e o SISTEMA DE MICRO-ANÁLISE - EDS, modelo AZTec Energy X-Act, resolução 129eV, marca Oxford.EDS, feitos no Instituto Federal do Pará (IFPA).

Figura 7, 8, 9 - Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). 7) Referência – 0% de RCMG; 8) 5% de RCMG; 9) 10% de RCMG. Fonte: Autor.



Na Figura 7, 8 e 9 é perceptível, a maior presença de resíduo (RCMG) proporcionalmente ao seu acréscimo, 5% e 10%. Logo, conforme há o aumento de RCMG, sua microestrutura fica mais densa e, com a análise do EDS, se pode perceber a distribuição do resíduo em toda o concreto, sendo mais preciso na zona de transição e nos poros isso contribuindo para uma menor absorção total como mostrado no ensaio de absorção. Porém o resíduo não impediu dos poros estarem interconecatos influenciando assim na sucção capilar do concreto.

4. CONCLUSÕES

A partir do estudo realizado e dos resultados obtidos nos ensaios de absorção por imersão e capilaridade, pode-se elencar as seguintes conclusões:

- Por meio do ensaio de absorção por imersão, foi constatado que a natureza porosa do agregado reciclado promove maior absorção do concreto produzido com o mesmo. Observou-se também que o aumento do teor de RCGM promove colmatação dos poros não conectados e gerais diminuendo a absorção total do concreto
- No ensaio de imersão por capilaridade, percebeu-se que os maiores níveis de taxa de absorção foram dos concretos produzidos com teor de RCGM de 5%.

A análise das propriedades físicas, químicas, mineralógicas e morfológicas deste resíduo nos permitiu avaliar e caracterizar este resíduo como uma adição mineral inerte, ou seja, um *filler*. Sua granulometria e finura semelhantes ao do cimento Portland colaboraram para o efeito de preenchimento dos poros da zona de transição e sua densificação.

5. REFERÊNCIAS

1. ALIABDO, A.A., ABD ELMOATY, ABD ELMOATY M., AUDA, E.,M., 2014. **Re-use of waste marble dust in the production of cement and concrete.** Constr. Build. Mater. 50, 28e41.

2. METHA, P. Kumar.; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto – Microestrutura, Propriedades Materiais.** Editora Nicole Pagan Hasparyk, 2º Edição, 2014.

3. SOLIMAN, N.M., 2013. **Effect of using marble powder in concrete mixes on the behavior and strength of R.C. slabs**. Int. J. Curr. Eng. Technol. ISSN: 2277-4106 3 (5), 1863e1870.

4. ERGÜN, A., 2011. **Effects of the usage of diatomite and waste marble dust as partial replacement of cement on the mechanical properties of concrete**. Constr. Build. Mater. 25 (2), 806e812

5. SHIRULE, P.A., RAHMAN, A., GUPTA, R.D., 2012. **Partial replacement of cement with marble dust powder**. Int. J. Adv. Eng. Res. Stud. ISSN: 2249-8974 1 (3), 175e177.

6. CORINALDESI, V., MORICONI, G., NAIK, T.R., 2010. **Characterization of marble powder for its use in mortar and concrete.** Constr. Build. Mater. 24 (1), 113e117

7. AREL. H. S. 2016. **Recyclability of waste marble in concrete production. Journal of Cleaner Production**. 131 (2016) 179e188.

8. LOPES, J. L. M. P., BACARJI, E., FIGUEIREDO, E. J. P., RÊGO, J. H. S., PEREIRA, A. C. **Estudo do potencial de utilização do resíduo de beneficiamento de mármore e granito (RBMG), como fíler, na produção de concreto**. Congresso de Pesquisa, Ensino e Extensão da UFG, 2006.

9. ALVES, M.S. **Estudo das características e da viabilidade do uso de resíduos gerados no polimento de rochas graníticas como adição em concretos**. 2008. 133f. Dissertação (mestre em engenharia civil).

10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118. **Projeto de Estruturas de Concreto Armado - Procedimento**. Comitê: ABNT/CB-018. Rio de Janeiro, 2014.

11. GONÇALVES, J.P. **Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para produção de concretos**. 2000.135f. Dissertação (mestre em engenharia civil).

12. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 23. **Cimento Portland e outros materiais em pó.** Comitê: ABNT/CB-018 Cimento, Concreto e Agregados, 2000.

13. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52. **Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente.** Comitê: ABNT/CB-018 Cimento, Concreto e Agregados, 2009.

14. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 53. **Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água.** Comitê: ABNT/CB-018 Cimento, Concreto e Agregados, 2009.

15. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 45**. Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Comitê: ABNT/CB-018 Cimento, Concreto e Agregados, 2006.

16. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 23. **Cimento Portland e outros materiais em pó.** Comitê: ABNT/CB-018 Cimento, Concreto e Agregados, 2000.

17. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655**3 - Materiais Pozolânicos - Requisitos** – Rio de Janeiro, 2014.

18. HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: Pini, 1993.

19. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738. **Concreto-Procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova**. Comitê: ABNT/CB-018 Cimento, Concreto e Agregados, 2015.

20. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778. **Argamassa e concreto endurecido – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Comitê: ABNT/CB-018. Rio de Janeiro, 2005.

21. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9779**. Argamassa e concreto endurecido – Determinação da absorção de água por capilaridade.** Comitê: ABNT/CB-018 Cimento, Rio de Janeiro, 2012.

22. HELENE, P.R.L. **La Agressividad del Medio y la Durabilidad del Hormigón**. Hormigón, AATH, n. 10 p. 25035, ago. Buenos Aires. 1983.